

Autonomes Fahren im Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen

Dipl.-Inform. Sebastian Ohl	Dipl.-Ing. (FH) Katharina Häusler
Prof. Dr.-Ing. Markus Maurer	Prof. Dr.-Ing. Christian Holldorb
TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik	Hochschule Biberach, Institut für Immobilienökonomie und Projekt- management

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden Einsatzmöglichkeiten für autonome Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst diskutiert. Vorgestellt werden dabei zwei unterschiedliche Ausbaustufen mit verschiedenen Einsatzszenarien. Die Systeme wurden nach dem “Systematischen Entwurf für Fahrerassistenzsysteme” (Maurer, 2009) entwickelt. Die Motivation zur Entwicklung und zum Einsatz von autonomen Straßenfahrzeugen im Straßenbetriebsdienst liegt in der Erhöhung der Arbeitssicherheit für die Mitarbeiter. Mögliche Einsatzbereiche stellen hierbei vor allem die Regelpläne D III 2a/3b/7 den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA2009, 2009) dar. Diese beschäftigen sich auch

mit mobilen Arbeitsstellen, welche durch Absperr- und Vorwarnfahrzeuge abgesichert werden.

1 Einleitung

Im Straßenbetriebsdienst auf Autobahnen kommt es immer wieder zu schweren Unfällen mit Personenschaden. Bedingt durch den Arbeitsplatz unmittelbar an und auf der Fahrbahn sind die Mitarbeiter der Autobahnmeistereien hier einem besonders hohen Risiko ausgesetzt. Während ihrer Tätigkeiten führen sie vor allem Arbeiten durch, die stark vom üblichen Verhalten im Autobahnverkehr (z.B. Fahrt mit hoher Geschwindigkeit in einer Richtung) abweichen. So werden beispielsweise sehr langsame Fahrten ($< 10 \text{ km/h}$) auf dem Stand- oder linken Fahrstreifen durchgeführt, um Reinigungs- oder Mäharbeiten durchzuführen oder Arbeitsstellen kürzerer oder längerer Dauer auf- und abzubauen.

Eine typische Arbeitskolonne für mobile Arbeitsstellen besteht dabei aus einem Arbeitsfahrzeug und einem oder mehreren Absperr- bzw. Vorwarnfahrzeugen. Neben der eigentlichen Arbeitsaufgabe ist demnach noch mindestens ein weiterer Mitarbeiter dem Unfallrisiko ausgesetzt. Im Ergänzungsbericht "Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst" (Holldorb u. a., 2011a) zum Projekt "Informations- und Kommunikationstechniken zur Optimierung des Betriebsdienst-Managements" (Holl-

dorb u. a., 2011b) wurde dies zum Anlass genommen, für die Absperr- und Vorwarnfahrzeuge autonome Systeme vorzuschlagen, um den Aufenthalt von Mitarbeitern im Gefahrenbereich erheblich zu reduzieren.

Bei den vorgeschlagenen Einsatzszenarien handelt es sich vorwiegend um Folge- und Formationsfahren auf der Autobahn. Vergleichbare Situationen wurden in der Vergangenheit bereits in Forschungsarbeiten behandelt. So wird beispielsweise im Projekt SARTRE (Safe Road TRains for the Environment) (Robinson u. a., 2010) ein virtueller Konvoi entwickelt. Dieser soll im Jahr 2012 öffentlich demonstriert werden. Das Projekt KONVOI (Ramakers u. a., 2009) zeigte 2008 eine Konvoifahrt von fünf LKW auf einer deutschen Autobahn. Dabei waren die Fahrzeuge mit automatischer Längs- und Querverführung sowie diversen Sensoren ausgestattet.

Im Rahmen dieses Beitrags werden zwei mögliche technische Realisierungen autonomer Fahrzeuge im Straßenbetriebsdienst beschrieben. Zunächst wird auf den eingesetzten Entwicklungsprozess eingegangen und anschließend werden die Systeme entsprechend vorgestellt.

2 Entwicklungsprozess

Da im Rahmen dieses Beitrags kein reales System vorgestellt wird, sondern nur Funktionsausprägungen diskutiert werden, bie-

tet sich das Vorgehen nach dem „Systematischen Entwurf von Fahrerassistenzsystemen“ (Maurer, 2009) an, da der Prozess die Entwicklung eines Prototypen von diesen vorangehenden Fragestellungen trennt.

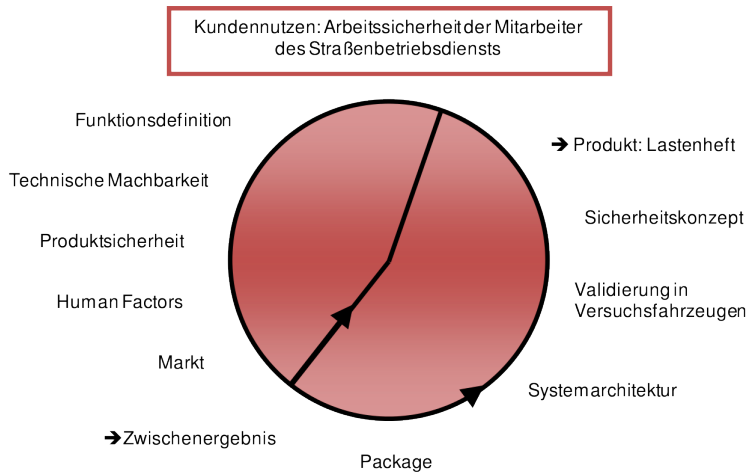


Abbildung 1: Prozess „Systematischer Entwurf von Fahrerassistenzsystemen“ (Maurer, 2009)

Der systematische Entwurf von Fahrerassistenzsystemen ist ein iterativer Prozess, der als zentrales Element den Kundennutzen betrachtet. In diesem Fall wird als Kundennutzen die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter des Straßenbetriebsdienstes betrachtet.

In Abbildung 1 sind die einzelnen Phasen des Vorgehens dargestellt. Zunächst wird eine Funktionsdefinition erstellt. Diese wird anschließend auf ihre technische Machbarkeit überprüft.

Die Betrachtung von Produktsicherheitsfragen bereits zu Beginn der Konzeptphase sorgt für die rechtzeitige Einbeziehung von Sicherheitsexperten. In der Phase “Human Factors” werden Fragen der Ergonomie und der Mensch-Maschine-Interaktion diskutiert. Ebenfalls im frühesten Entwicklungsstadium werden die Fragen nach der Vermarktbarkeit des beschriebenen Produkts beantwortet. Die ausschließlich mit Expertenwissen entstandenen Dokumente können nun einer gemeinsamen Prüfung unterzogen werden. Ist das Ergebnis konsistent, so kann mit einer konkreten prototypischen Realisierung des Systems begonnen werden. Wenn dies nicht der Fall ist, so wird dieser expertenbasierte Entwurfsschritt erneut mit einer angepassten Funktionsdefinition durchgeführt. Der Vorteil liegt hierbei in dem überschaubaren Aufwand für die jeweiligen Iterationsschleifen. Bei einem konsistenten Zwischenergebnis kann der Prozess zu Ende geführt und letztlich ein Lastenheft zur Entwicklung eines Serienprodukts entwickelt werden.

Im Rahmen dieses Beitrags wurde nur der erste Teil des Vorgehens gemäß Abbildung 1 angewendet.

3 System 1: Selbstfahrende Sicherungstafel

Das Erste der beiden im Rahmen des Beitrags vorgestellten Systeme stellt die Basisvariante eines automatischen Sicherungsfahr-

zeugs dar. Das System kann beispielsweise bei Mäh- und Reinigungsarbeiten auf dem Standstreifen auf der Autobahn eingesetzt werden sowie als zusätzliche Absicherung anderer Einsätze, die dadurch eine höhere Sicherheit erhalten.

Funktionsdefinition Für dieses System wird ein Fahrzeug mit einer Sicherungstafel ausgerüstet. Dieses Fahrzeug ist in der Lage, einem Arbeitsfahrzeug (Führungsfahrzeug) im Abstand von 5 m bis 50 m zu folgen. Zusätzlich kann es an einer vorgegebenen Stelle abgestellt werden sowie nach einem erfolgten Einsatz nachgeholt werden, um wieder eine Kopplung mit dem Führungsfahrzeug einzugehen.

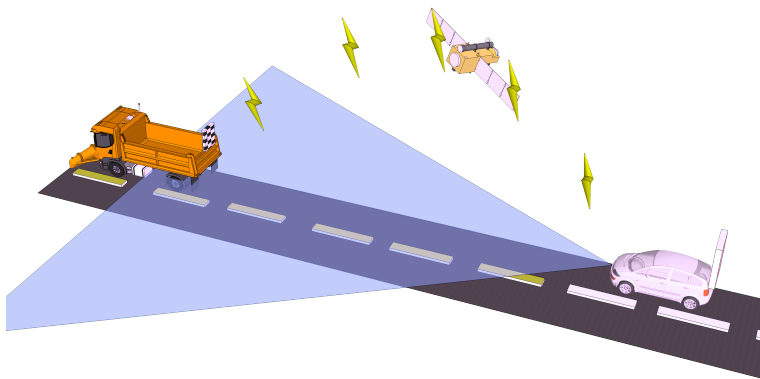


Abbildung 2: Darstellung der technischen Einrichtungen von System 1

Technische Realisierung Abbildung 2 stellt eine Übersicht über die technischen Komponenten des Systems dar. Zu sehen sind das Führungsfahrzeug sowie das mit einem Warnschild ausgerüstete Folgefahrzeug. Die Fahrzeuge sind über ein Kommunikationssystem gekoppelt. Das Führungsfahrzeug ist mit einem dGPS-Ortungssystem ausgestattet. Die so gewonnene Trajektorie wird an das Folgefahrzeug übermittelt. Kommuniziert wird zwischen den Fahrzeugen über eine gesicherte digitale Funkverbindung. Zusätzlich zur Trajektorie werden über diesen Kanal auch Kommandos an das Folgefahrzeug übermittelt.

Bei der Auswahl des Basisfahrzeugs für das Folgefahrzeug sollte Wert auf die digitale Ansteuerbarkeit von Längs- und Queraktuatoren gelegt werden. Das Folgefahrzeug wird ebenfalls mit einem dGPS-Ortungssystem ausgerüstet, mit dem die eigene Trajektorie mit der vom Führungsfahrzeug übermittelten verglichen wird. Zusätzlich werden eine Fahrstreifenerkennung zur Plausibilisierung der eigenen Position sowie ein Kamerasystem zur Erkennung einer Markierung auf dem Führungsfahrzeug installiert. Mithilfe eines Abstandssensors (z.B. LIDAR oder Ultraschall) wird der unmittelbare Frontbereich des Fahrzeugs überwacht, um die Befahrbarkeit sicherzustellen.

Produktsicherheit Da sich das automatische Fahrzeug unbemannt im realen Straßenverkehr auf der Autobahn bewegen soll, ist besonderer Wert auf das Sicherheitskonzept zu legen. Für dieses Basis-System wird zunächst eine Überwachung durch

einen menschlichen Fahrer im Führungsfahrzeug vorgesehen. Hier muss der Fahrer oder ggf. ein zusätzlicher Überwacher sicherstellen, dass das Folgefahrzeug die geplante Trajektorie abfährt und die eingegebenen Befehle befolgt. Denkbar ist auch die Übertragung des Videosignals der Kamera in das Führungsfahrzeug zur Verifikation von Befehlen durch den Fahrer.

Das Folgefahrzeug bewegt sich mit, im Verhältnis zu den anderen Verkehrsteilnehmern, sehr geringer Geschwindigkeit. Dadurch ist es möglich, im Falle einer Fehlfunktion das Fahrzeug anzuhalten und auf einen manuellen Eingriff durch den Verantwortlichen aus dem Führungsfahrzeug zu warten. Eine im Folgefahrzeug untergebrachte Überwachungseinheit sollte alle gemessenen Größen überwachen. Dabei sind nicht nur Bereichs-, Offset- und Zeitüberwachungen notwendig, sondern auch der Vergleich von gemessenen mit berechneten Werten.

Da die Übertragung von Kommandos und Statusinformationen zwischen den Fahrzeugen über einen Funkkanal geschieht, ist auf eine geeignete Verschlüsselung der Daten zu achten. Dritten darf es in keinem Fall ermöglicht werden, Zugriff auf die Kommandokanäle des Gespanns zu erhalten. Ferner darf die Verbindung zwischen den Fahrzeugen nicht abreißen. Hierzu könnte beispielsweise über die Kamera zur Mustererkennung sichergestellt werden, dass immer eine Sichtverbindung besteht. Wird der Abstand zwischen den Fahrzeugen größer, ist damit zu rechnen, dass andere Verkehrsteilnehmer diesen Bereich nutzen. Dies

sollte zu einem unmittelbaren Stopp der Kolonne führen.

Das Folgefahrzeug ist zu jeder Zeit an den Fahrstreifen des Führungsfahrzeugs gebunden. Dies lässt sich über die eingesetzte Fahrstreifenerkennung sowie die übermittelte GPS-Trajektorie überprüfen. Fehler des GPS-Empfangs können ebenfalls gegen die Fahrstreifenerkennung plausibilisiert werden.

Human Factors Da das Folgefahrzeug ohne Fahrer fährt, ist vor allem im Führungsfahrzeug auf eine geeignete Gestaltung des Arbeitsplatzes zu achten. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Fahrer die Überwachungsaufgabe des Folgefahrzeugs neben seiner eigentlichen Arbeitsaufgabe (z. B. Mähen oder Reinigen der Fahrbahn) durchführen muss. Erst in praktischen ergonomischen Untersuchungen wird sich zeigen, ob der Fahrer in der Lage ist, die Überwachungsaufgabe selbst zu übernehmen oder ob diese ein geschulter Beifahrer übernehmen sollte. Abseits der technischen Gestaltung des Gespanns ist zu erwarten, dass auch das Thema Personaleinsparung bei den Nutzern eine Rolle spielen wird. Ziel des Systems ist jedoch die Arbeitsplatzsicherheit und nicht die Reduktion von Personal.

Markt Durch das System ließe sich die Anzahl der Einsätze, bei denen Warnfahrzeuge eingesetzt werden, erheblich vergrößern. Der Einsatz von Warnfahrzeugen könnte, bei ausreichender Verfügbarkeit, sogar bei allen Einsätzen zum Standard werden. Dies würde einen erheblichen Sicherheitsgewinn bedeuten. Aus Inter-

views mit Straßenarbeitern ist bekannt, dass das Ausbringen und Einholen von statischen Warnschilden mit einem erheblichen zeitlichen Aufwand und mit deutlichen Sicherheitsrisiken verbunden ist, da die Betroffenen hier beispielsweise Anhänger vom Zugfahrzeug abkoppeln müssen. Da mit Fahrzeugen des Betriebsdienstes zusätzlich auf Autobahnen nicht entgegen der Fahrtrichtung gefahren werden soll, sind Schleifenfahrten notwendig, um die Anhänger nach Abschluss der Arbeiten wieder einzuholen. Mit dem Einsatz des Systems kann das Warnfahrzeug abgestellt werden, ohne das Führungsfahrzeug zu verlassen. Nach erfolgter Arbeit kann anschließend das Warnfahrzeug zum Führungsfahrzeug nachgeholt und erneut „virtuell“ gekoppelt werden. Eine Umfahrt ist damit nicht länger notwendig.

3.1 System 2: Selbstfahrende Absperr- und Vorwarnfahrzeuge

Für das zweite System wird ein erheblich erweiterter Aufgabenbereich vorgesehen. Hierbei soll eine gesamte Absicherungskolonnie automatisiert werden, wie sie beispielsweise nach D III 2a/3a den RSA (RSA2009, 2009) vorgesehen ist (Abbildung 3). Der dabei erwartete Sicherheitsgewinn für die Mitarbeiter der Arbeitskolonne ist hier noch größer, da z. B. im Fall der genannten Absicherungspläne sich drei Mitarbeiter weniger im Gefahrenbereich befinden.

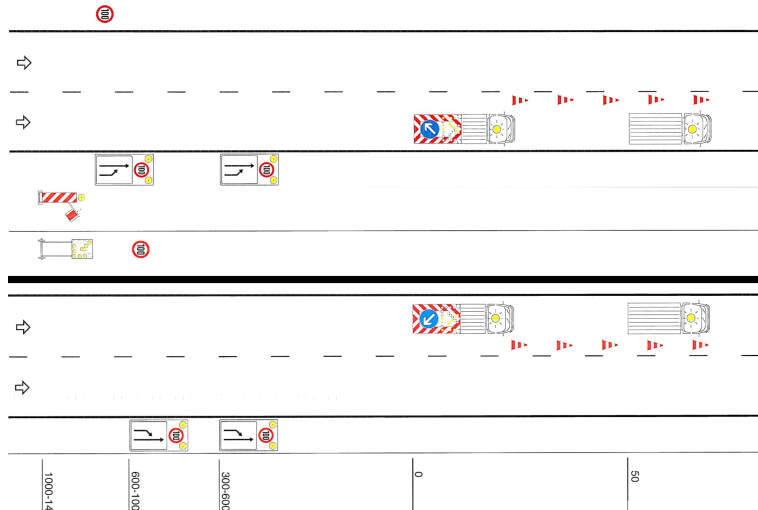


Abbildung 3: Absicherung beweglicher Arbeitsstellen gemäß Regelplänen D III 2a (oben) und D III 3a (unten) den RSA (RSA2009, 2009)

Funktionsdefinition Das System automatisiert eine vollständige Absicherungskolonne bestehend aus einem Arbeitsfahrzeug (Führungsfahrzeug), einem Absperrfahrzeug und ggf. einem oder mehreren Vorwarnfahrzeugen (Folgefahrzeuge). Die Funktionsweise teilt sich in drei Bereiche ein:

1. An-/Abfahrt zur Arbeitsstelle über nicht öffentliche Betriebszufahrten bzw. direkte An-/Abfahrt auf der Autobahn bei mind. 60 km/h
2. Auf-/Abbau der Arbeitsstelle auf der Autobahn
3. Betrieb der Arbeitsstelle

An-/Abfahrt zur Arbeitsstelle: Die Kolonne ist in der Lage, auf einer nicht öffentlichen Straße den Weg bis zur Autobahn automatisch zurückzulegen. Hierbei werden alle Fahrzeuge in einer geordneten Kolonne vom Arbeitsfahrzeug angeführt. Je nach baulichen Gegebenheiten (z.B. starker GPS-Abschattung) sollte die Strecke mit zusätzlichen technischen Einrichtungen (z.B. Funkfeuern) ausgerüstet werden.

Auf-/Abbau der Arbeitsstelle: Ausgehend von einem Standstreifen oder einem Parkplatz nahe am Arbeitsplatz beginnt die Kolonne den Aufbau der Arbeitsstelle. Hierbei fahren alle Fahrzeuge in entsprechender Reihenfolge in den Verkehr ein, führen ggf. Fahrstreifenwechsel gemeinsam durch und bremsen nach Erreichen der Formation auf die gewünschte Arbeitsgeschwindigkeit herunter.

Betrieb der Arbeitsstelle: Während des Betriebs hält die Kolonne die gewünschte Formation. Bedingt durch Anschlussstellen oder andere geografische Gegebenheiten, sind die Abstände zwischen den Fahrzeugen und die Trajektorien der einzelnen Fahrzeuge ggf. anzupassen.

Technische Realisierung Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über die technischen Teilsysteme, die für den Betrieb von System 2 benötigt werden. Hierbei ist exemplarisch eine Kolonne mit einem Führungsfahrzeug und zwei Folgefahrzeugen dargestellt. Gegenüber dem System 1 sind eine ganze Reihe von zusätzlichen technischen Systemen notwendig. Die Grundlage für den

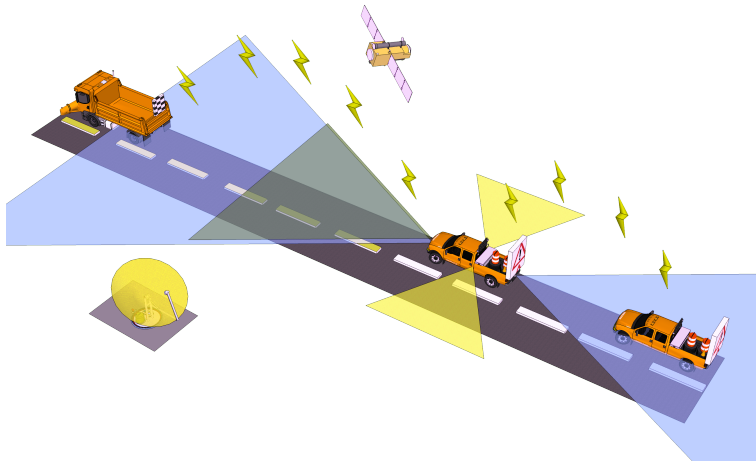


Abbildung 4: Darstellung der technischen Einrichtungen von System 2

Betrieb stellt eine genaue digitale Karte des Einsatzgebiets dar. In ihr sind die Lage der Fahrstreifen, statische Hindernisse sowie sog. Eventflächen, z.B. Ende eines Standstreifens, Beginn Verzögerungstreifen etc., verzeichnet, bei deren Erreichen bestimmte Ereignisse ausgelöst werden. Denkbar sind hier z.B. Übergaben zum manuellen Weiterbetrieb (z.B. an Anschlussstellen) oder auch Nothalte. Zur Nutzung dieser Informationen ist zwingend ein dGPS-Ortungssystem mit Inertialnavigation notwendig, d.h. einem Sensorsystem, mit dessen Hilfe die Messung von Bewegungen von im Raum frei beweglichen Körpern unabhängig von jeglichen Ortungssignalen aus der Umgebung möglich ist, um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen. Da die Abstände innerhalb der Kolonne bis zu einem Kilometer be-

tragen können und nicht immer eine Sichtverbindung gewährleistet ist, wird eine erhöhte Verfügbarkeit der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen notwendig. Hierbei werden zunächst die beteiligten Fahrzeuge so ausgerüstet, dass sie Informationen vervielfältigen und weiterleiten können. Darüber hinaus wird ein zweiter Kommunikationskanal zur Absicherung notwendig. Denkbar ist hier der Einsatz eines digitalen Kanals innerhalb des Betriebsfunks oder des Betriebsfunks.

Die genaue Position des Führungsfahrzeugs wird permanent an die Kolonne übertragen, anhand derer die Folgefahrzeuge ihren Abstand erneut bestimmen und ggf. Anpassungen der eigenen Position einleiten. Zusätzlich stellt der Kommunikationskanal auch die Basis dar, um Kommandos an die Folgefahrzeuge sowie Statusinformationen von den Folgefahrzeugen an das Führungsfahrzeug zu senden. Zur Freigabe von Sonder-Manövern (z. B. Überfahren von Anschlussstellen) kann bei Bedarf ein Video-Bild in das Führungsfahrzeug übertragen werden.

Zur Stützung der Ortung wird zusätzlich eine Fahrstreifenerkennung eingesetzt. Im Falle eines unmittelbar folgenden Folgefahrzeugs ist das Führungsfahrzeug erneut mit einem Muster und das Folgefahrzeug mit einer Mustererkennung versehen. Diese Daten lassen sich zur Stützung der Ortung einsetzen.

Bei beiden Systemen ist gemäß den RSA derzeit ein LKW als Trägerfahrzeug für die Absperreinheit vorgesehen, da die Absperrfahrzeuge nicht nur die Aufgabe haben die Arbeitsstelle an-

zuzeigen, sondern auch als Fangfahrzeuge bei möglichen Unfällen fungieren sollen. Es ist zu überdenken, ob dies auch bei unbesetzten Absperrfahrzeugen einen Sicherheitsgewinn in der Arbeitsstelle darstellt. Bei der Auswahl der Fahrzeuge ist eine geeignete digitale Ansteuerung der Aktorik (Gas, Bremse und Lenkung) Voraussetzung. Da durch das Fehlen eines Fahrers in den Folgefahrzeugen kein physikalischer Zugriff mehr auf die Absperr- und Vorwarntafel möglich ist, sind sie mit einer ferngesteuerten Anzeigetafel ausgerüstet. Der Inhalt kann durch das Führungsfahrzeug bestimmt werden.

Da die Funktionsbeschreibung auch das Navigieren in fließendem Verkehr während des Auf- und Abbaus der Arbeitsstelle vorsieht, ist eine 360°-Sicht um das Fahrzeug mit einer Fokussierung auf den Front- und Heckbereich der Folgefahrzeuge zwingend notwendig. Die Sensorbereiche müssen redundant hinsichtlich Abdeckungsbereich und Sensortechnologie ausgelegt werden.

Produktsicherheit Da sich das automatische Fahrzeug im realen Straßenverkehr auf der Autobahn bewegen soll, ist besonderer Wert auf Sicherheit zu legen. Die gesamte Kolonne wird durch das Führungsfahrzeug dauerhaft überwacht. Zusätzlich zum Fahrer wird ein "Operator" eingeführt. Dieser überwacht permanent den Zustand der Kolonne und kann Änderungen an der Formation vornehmen oder z.B. Freigaben für Manöver erteilen.

Durch die Fahrt im fließenden Verkehr ist der in System 1 immer verfügbare sichere Zustand "Stehen bleiben" nicht in allen Fällen verfügbar. Bei Fahrten auf dem Standstreifen sollte dies, bedingt durch i. d. R. niedrige Geschwindigkeiten, auch bei System 2 als sicherer Zustand angestrebt werden. Während der Fahrt auf einem Fahrstreifen ist, sofern die Schätzung des Eigenzustands dies zulässt, ein Wechsel auf den Standstreifen einem sofortigen Haltemanöver vorzuziehen.

Eine in allen Folgefahrzeugen untergebrachte Überwachungseinheit überwacht alle gemessenen Größen. Dabei sind nicht nur Bereichs-, Offset- und Zeitüberwachungen notwendig, sondern auch der Vergleich von gemessenen mit berechneten Werten.

Da die Übertragung von Kommandos und Statusinformationen zwischen den Fahrzeugen über einen Funkkanal geschieht, ist auf eine geeignete Verschlüsselung der Daten zu achten. Dritten darf es in keinem Fall ermöglicht werden, Zugriff auf die Kommandokanäle des Gespanns zu erhalten und die Steuerung zu manipulieren. Ferner sollte die Verbindung zwischen den Fahrzeugen niemals abreißen. Durch den Einsatz eines redundanten Funkkanals sowie durch die Repeater-Eigenschaft der Folgefahrzeuge soll dies sichergestellt werden.

Da der Abstand zwischen den Fahrzeugen bis zu einem Kilometer betragen kann, ist damit zu rechnen, dass andere Verkehrsteilnehmer den Bereich auf dem Standstreifen zwischen den Fahrzeugen nutzen. Dies sollte zu einem unmittelbaren Stopp

des betreffenden Folgefahrzeugs auf dem Standstreifen führen. Der Operator muss dann über das weitere Vorgehen entscheiden. Denkbar wäre hier ein Ausweichmanöver auf dem rechten Fahrstreifen.

Die Position der Folgefahrzeuge muss sich zu jedem Zeitpunkt mit der Realität decken, um die Vorteile einer digitalen Karte nutzen zu können. Hierzu ist die dGPS-Position mit einer Fahrstreifenerkennung, der Inertialplattform zur Bewegungsmessung und ggf. mit einer Mustererkennung am Führungsfahrzeug abzugleichen und zu einer gemeinsamen Position zu fusionieren.

Die digitale Karte stellt einen Ankerpunkt innerhalb der Sicherheitsüberlegungen dar. Sie legt fest, welche Bereiche von den Fahrzeugen befahren und welche nicht befahren werden dürfen. Zusätzlich sind Eventflächen vorgesehen, bei deren Erreichen ein Eingriff des Operators im Führungsfahrzeug notwendig oder ein besonderes Fahrmanöver ausgelöst wird.

Human Factors Da die Folgefahrzeuge ohne Fahrer fahren, ist vor allem im Führungsfahrzeug auf eine geeignete Gestaltung des Arbeitsplatzes zu achten. Dem Operator muss ein Human-Machine Interface zur Verfügung gestellt werden, das ihn alle erforderlichen Aufgaben intuitiv erfüllen lässt. Hierbei ist zusätzlich darauf zu achten, dass der Operator während der Phasen, in denen keine Aktion von ihm erforderlich ist, dauerhaft aufmerksam bleibt. Abseits der technischen Gestaltung des Gespanns ist zu erwarten, dass auch das Thema Personaleinsparung bei den

Nutzern eine Rolle spielen wird. Ziel des Systems ist jedoch die Arbeitsplatzsicherheit und nicht die Reduktion von Personal.

Markt Das System lässt sich in der Kombination aus einem Führungs- und einem Folgefahrzeug äquivalent zu System 1 einsetzen. Darüber hinaus sind erheblich komplexere Szenarien (z. B. D III / 2a, 3a RSA) abbildbar. Durch die Reduktion von Personal im Gefahrenbereich wird, gemessen an dem Kundennutzen, eine erhebliche Verbesserung der Arbeitssicherheit gegenüber, einer manuell gefahrenen Absicherungskolonne erreicht. Die Umsetzung als automatische Absicherungskolonne bietet ferner eine Erhöhung der Verkehrssicherheit, da hier keine Ermüdungserscheinungen bei den Fahrern während des Einsatzes auftreten.

4 Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurden zwei autonome Systeme zur Unterstützung der Arbeiten des Straßenbetriebsdiensts auf Autobahnen vorgestellt. Zur Realisierung dieser Systeme gibt es noch erheblichen technischen und rechtlichen Forschungsbedarf. Beispielsweise stellt sich die Frage, wie ein solches System nach ISO 26262 (ISO26262, 2011) als “sicher” zu bezeichnen wäre. Während des Entwicklungsprozesses ist dies eine der zentralen Fragen. Auch der Bereich der Systemüberwachung und die frühzeitige Detektion von Fehlfunktionen wird eine Herausforderung für die Realisierung, da gerade bei System 2 der sichere Zustand “ste-

hen bleiben” nicht immer zur Verfügung steht und ggf. mit reduzierten Fähigkeiten noch Fahrmanöver durchgeführt werden müssen. Neben der technischen Umsetzung ist zum Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr eine entsprechende Zulassung notwendig. Hierzu sind eine ganze Reihe von Fragen offen, die es im Rahmen einer prototypischen Realisierung zu beantworten gilt.

Literatur

[RSA2009 2009] *Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen*. Ausgabe 1995, 4. überarbeitete Auflage. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, September 2009

[ISO26262 2011] NORM ISO 26262, November 2011. *Road vehicles – Functional safety*

[Holldorb u. a. 2011a] HOLLDORB, Christian ; HÄUSLER, Katharina ; MAURER, Markus ; OHL, Sebastian: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst / Hochschule Biberach, Institut für Immobilienökonomie und Projektmanagement (IIP). 2011. – Ergänzungsbericht. Ergänzungsbericht zum Forschungsbericht „Informations- und Kommunikationstechniken zur Optimierung des Betriebsdienst-Managements“, (Holldorb u. a., 2011b)

[Holldorb u. a. 2011b] HOLLDORB, Christian ; HÄUSLER,

Katharina ; TRÄGER, Daniel: Informations- und Kommunikationstechniken zur Optimierung des Betriebsdienst-Managements / Hochschule Biberach, Institut für Immobilienökonomie und Projektmanagement (IIP). 2011. – Forschungsbericht

[Maurer 2009] MAURER, Markus: Entwurf und Test von Fahrerassistenzsystemen. In: WINNER, Hermann (Hrsg.) ; HAKULI, Stephan (Hrsg.) ; WOLF, Gabriele (Hrsg.): *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner, 2009, S. 43–54

[Ramakers u. a. 2009] RAMAKERS, Richard ; HENNING, Klaus ; GIES, Stefan ; ABEL, Dirk ; HABERSTROH, Max: Electronically coupled truck platoons on German highways. In: *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009*. San Antonio, USA, 2009, S. 2409 –2414

[Robinson u. a. 2010] ROBINSON, Tom ; CHAN, Eric ; COELINGH, Erik: Operating Platoons On Public Motorways: An Introduction To The SARTRE Platooning Programme. In: *17th World Congress on Intelligent Transport Systems*. Busan, Korea, 2010